Der Digitale Zwilling in der Wasserwirtschaft

Richard J. Vestner (München)

Zusammenfassung

In der Wasserwirtschaft etabliert sich zunehmend der Schlüsselbegriff des „Digitalen Zwillings" zur Beschreibung einer Standardtechnologie der Digitalisierung. Basierend auf Echtzeitmodellierung und Wertschöpfung von Wasser- und Umweltdaten wird damit ein erfolgreiches Kernelement des Industrie-4.0-Ansatzes im Wassersektor adressiert. Ausgehend von der industriellen Begriffsdefinition und Funktionsweise wird im Beitrag konzeptionell aufgezeigt, wie der Digitale Zwilling in der Wasserwirtschaft zur Erhöhung von Transparenz und Wissen beiträgt und zur Beschleunigung von faktenbasierter Entscheidungsfindung eingesetzt werden kann.

Im Rahmen der Umsetzung des Industrie-4.0-Ansatzes in der Wasserwirtschaft ist der Digitale Zwilling Bestandteil selbstoptimierender Automatisierungslösungen. Diese auch als Wasser 4.0 bezeichnete Strategie erfordert neue Kompetenzen und Fähigkeiten der beteiligten Akteure und wird neue Allianzen und Geschäftsmodelle hervorbringen. Der Digitale Zwilling schafft dabei ideale Voraussetzungen für agile, lernende Unternehmen.

Forschung und Entwicklung in Universitäten sowie öffentlichen und privaten Unternehmen arbeiten derzeit an der Entwicklung und an der Marktreife von Digitalen Zwillingen in Systemlandschaften, in denen virtuelle und physische Welten verschmelzen. Es entstehen neue, zukunftsweisende Aufgaben und Lösungen für die Wasserwirtschaft, woraus nationale und internationale Marktchancen erwachsen werden.

Schlagwörter: Wasserwirtschaft, Digitaler Zwilling, Digitalisierung, Wasser 4.0, Cyber-physisches System, Building Information Modeling, Künstliche Intelligenz

DOI: 10.3243/kwe2019.10.003

Abstract

The digital twin in the water sector

The key concept of a 'digital twin' to describe a standard digitalisation technology is increasingly gaining traction in the water sector. A successful core element of the Industry 4.0 is thus being addressed within the water sector based on real-time modelling and the creation of value from water and environmental data. This article uses the industrial definition of this term and its operating principle to show how the digital twin helps to raise transparency and knowledge in the water sector and can be used to accelerate fact-based decision-making.

The digital twin is part of self-optimising automation solutions as part of efforts to implement the Industry 4.0 approach in the water sector. This strategy, also known as Water 4.0, requires new expertise and skills on the part of stakeholders and will prompt new alliances and business models. The digital twin creates the ideal prerequisites for agile, learning companies.

Universities' and public and private companies' research and development departments are currently working to develop and bring digital twins to market maturity in system landscapes that blend virtual and physical worlds. New forward-looking responsibilities and solutions are emerging for the water sector that unleash national and international market opportunities.

Key words: water sector, digital twin, digitalisation, water 4.0, cyber-physical system, building information modelling, artificial intelligence

1 Einführung

Der Einsatz von digitalen Lösungen und Dienstleistungen und die zunehmende Inwertsetzung von Daten ist längst in der Wasserwirtschaft angekommen und reicht auch hier über den Einsatz von Computern, Modellen und Vernetzung hinaus. Die Digitalisierung hat die Kraft zur grundlegenden Modernisierung und zur Transformation der Branche mit neuen Akteuren, Partnerschaften und Geschäftsmodellen. Als wesentliche Treiber der digitalen Transformation im Wassersektor wurden Notwendigkeiten zur Erhöhung der Effizienz und zur Reduzierung der Kosten sowie eine strengere Regulierung ausgemacht [1]. Seit einiger Zeit wird auch die Bezeichnung Wasser 4.0 verwendet, die aus der politisch/industriellen Industrie-4.0-Initiative hervorgegangen ist und wie diese auf einem transformativen, holistischen Ansatz beruht.

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

Neue Methoden, Lösungen und digitale Technologien mit Ursprüngen in anderen Industriezweigen fließen bei der ständigen Weiterentwicklung des Wassersektors mit ein und eröffnen neue Möglichkeiten, genauso wie die Notwendigkeit eines gemeinsamen Verständnisses. Dazu zählt der „Digitale Zwilling" („Digital Twin"), der zunehmend Relevanz für die Wasserwirtschaft erlangt und im Folgenden näher erläutert wird. Die Verwendung eines Digitalen Zwillings kann sich über das gesamte wasserwirtschaftliche Aufgabenspektrum hinweg anbieten. Eingebettet in einen strategischen Wasser-4.0-Ansatz ist diese Technologie aktuell Innovationsmotor und Gegenstand intensiver Entwicklung und Erprobung [2–5].

Die Digitale Transformation von Unternehmen ist eine mehrdimensionale, strategische Anstrengung. In diesem Artikel geht es nur um den methodischen Ansatz und technologische Aspekte des Digitalen Zwillings, der sich zu einer innovativen Schlüsseltechnologie für die deutsche Wasserwirtschaft im nationalen und internationalen Umfeld entwickeln kann.

2 Begriffserläuterung, ausgehend von der industriellen Produktionstechnik

Der Begriff „Digitaler Zwilling" wird heute im Zusammenhang mit der Digitalisierung oft als innovative und bahnbrechende Technologie benutzt. Tatsächlich geht der Ansatz auf die Raumfahrt zurück, die bereits seit Jahrzehnten komplexe Simulationen von Raumschiffen durchführt. Laut [6] wurde „Digitaler Zwilling" allerdings erst 2010 von der NASA konkret eingeführt und definiert. Seitdem tritt der Begriff vor allem im Kontext der breit getragenen Industrie-4.0-Initiative sowie der Digitalisierung und Automatisierung in der produzierenden Industrie in Erscheinung [7, 8]. Dort wird bisweilen auch von einem „Digitalen Schatten" gesprochen.

Bei einem Digitalen Zwilling handelt es sich um ein Computermodell, das ein reales Objekt, seine Umgebung und seine Interaktion virtuell spiegelt und simuliert und so eine möglichst genaue Abbildung liefert, wie sich dieses Objekt in Echtzeit verhält. Dabei kann es sich um materielle oder immaterielle Objekte wie Produktionsanlagen, Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse, sogar um Unternehmen handeln. Das ständig aktuell zu haltende Modell ist mit dem realen Objekt verbunden und sammelt kontinuierlich Sensor-Informationen. Es entsteht eine digitale Nachbildung des tatsächlichen physischen Systems mit der Fähigkeit, das reale System zu simulieren und zu steuern. Somit kann ein Digitaler Zwilling zum Simulieren, Prognostizieren und Optimieren des Objekts oder des Systems verwendet werden, bevor in reale Prototypen und Ressourcen investiert wird.

Das derzeitige Haupteinsatzgebiet von Digitalen Zwillingen liegt in der Produktionstechnik und im Betrieb von Industriegütern. Der Industrie-4.0-Ansatz baut auf Digitalen Zwillingen auf, dort begleiten Digitale Zwillinge den kompletten Entwicklungs-, Produktions- und Betriebszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus [8]. Natürlich ist auch diese digitale Technologie einem schnellen Wandel unterworfen [6].

Um das volle Potenzial des Konzepts des Digitalen Zwillings auszuschöpfen, greifen in der industriellen Produktion drei unterschiedliche Komponenten ineinander. Diese decken unterschiedliche Stadien des Lebenszyklus' ab und können im Lauf der Produktentwicklung auch nacheinander entstehen:

a) der Digitale Produktzwilling:
Aus der Idee und dem Design entsteht beispielsweise ein räumliches CAD-Modell, sodass aus der Geometrie und den Stoffeigenschaften die Produkteigenschaften an einem virtuellen Prototypen im Vorfeld getestet und verbessert werden können. Zu nennen sind hier unter anderem statische Berechnungen, dynamische Belastungstests oder aerodynamische Optimierungen. Der Produktzwilling erhält über eine Verknüpfung zum Geografischen Informationssystem (GIS) die Information über die Lage des realen Objekts im Raum. Ein Produktzwilling kann für bestehende Objekte auch im Nachhinein entstehen, wozu häufig digitale Vermessung zum Einsatz kommt, beispielsweise mittels Laserscanner und Drohnen.

Seine Funktion: vernetzte Darstellung und Optimierung der Objekteigenschaften.

b) der Digitale Produktions- bzw. Prozesszwilling:
Damit werden Maschinen, Werkzeuge und Steuerungen virtuell abgebildet und die Fertigungs- bzw. Produktionsplanung optimiert. Ganze Produktionsstraßen bzw. Anlagen aus verschiedenen digitalisierten Einzelobjekten können so auf Fehler und Risiken geprüft und virtuell in Betrieb genommen werden. Dadurch können Produktionsprobleme vorhergesagt und Ausfallzeiten verhindert werden. Der Betrieb wird effizienter und zuverlässiger. In der Betriebsphase gewährleisten dynamische Softwaremodelle, die mit Daten aus Sensoren im Feld versorgt werden, die Nachbildung von Prozessen in Echtzeit.

Seine Funktion: vernetzte Darstellung, Vorhersage und Optimierung von (Produktions-) Prozessen.

c) der Digitale Leistungszwilling:
Im Betriebsmodus liefert das reale System dem Leistungszwilling laufend Betriebsdaten, sodass Leistungs- oder Qualitätskennzahlen errechnet und mit prognostizierten Daten verglichen werden können [KPIs (Key Performance Indica-

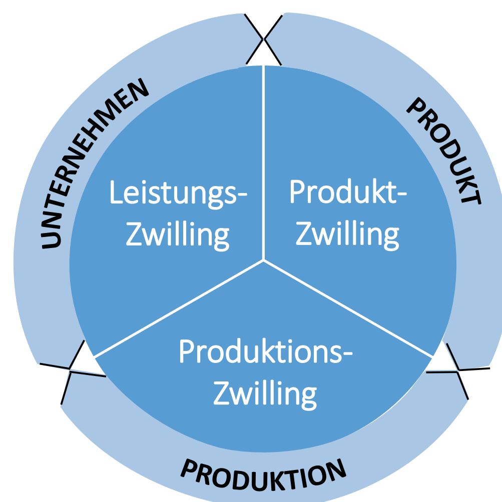


Abb. 1: Dreidimensionaler Wirkungszusammenhang eines Digitalen Zwillings in der industriellen Produktionstechnik

tors), Benchmarks]. Dadurch können optimale Auslastungszustände unter Berücksichtigung von Lieferketten und vorausschauende Instandhaltungsstrategien realisiert werden, der Energieverbrauch verbessert oder der Zeitpunkt der Außerbetriebnahme vorausberechnet werden. Der Leistungszwilling bietet beispielsweise die Verbindung zur MES-Software (Produktionsleitsystem, Manufacturing Execution System) oder zum ERP-System (Software zur Ressourcenplanung) des Unternehmens.

Seine Funktion: vernetzte Darstellung, Vorhersage und Optimierung von Geschäftsprozessen.

In einem integralen und vollständigen Ansatz sind die Grenzen zwischen den drei genannten virtuellen Komponenten des Digitalen Zwillings fließend. Dabei wird auch auf unterschiedliche, aber verknüpfte statische und dynamische Einzelmodelle als Grundelemente zurückgegriffen. Diese stehen in einem ständigen Datenaustausch miteinander und sorgen für eine Echtzeitvernetzung mit den realen Komponenten Produkt, Produktion und Unternehmen (Abbildung 1). Für die folgenden Ausführungen ist es von Bedeutung, sich über die ergänzenden Funktionen im Klaren zu sein.

Fazit: Der Digitale Zwilling ist eine Echtzeittechnologie, die sowohl die Elemente als auch die Dynamik und die Leistung eines Objekts, einer Anlage oder eines Systems virtuell darstellt und zielorientiert verknüpft.

3 Abstraktion des Begriffes auf die Wasserwirtschaft

Der Digitale Zwilling tritt nun zunehmend in der Bau- und Wasserwirtschaft in Erscheinung und verknüpft als Anwendungsträger verschiedene digitale Technologien, die oftmals isoliert oder off line bereits im Einsatz sind: von Sensoren und Simulationsmodellen über Künstliche Intelligenz und Cloud-Technologie bis zum Kundenbeziehungsmanagement.

Um das in Kapitel 1 dargestellte Leistungsspektrum abzubilden, bedarf es auch in der Wasserwirtschaft einer umfänglichen digitalen Abbildung von Zustand, Prozess und Leistung durch

1. die Digitalisierung des wasserwirtschaftlichen Objekts (zum Beispiel ein Belebungsbecken) oder des Systems (ein Wasserversorgungsnetz)
2. die Prozessdynamisierung mittels geeigneter hydraulischer, hydrologischer, biologischer oder physikalisch-chemischer Modelle
3. die Verbindung zu einem übergeordneten Planungs- und Steuerungsmodell des den Digitalen Zwilling einsetzenden Unternehmens.

In der obigen Begrifflichkeit verbleibend: Neben dem Produktzwilling eines wasserwirtschaftlichen Bauwerks wird durch die gleichzeitige dynamische Modellierung der wasserwirtschaftlichen Funktion im Produktionszwilling und der Verknüpfung mit der Unternehmensführung im Leistungszwilling der eigentliche Investitions- und Optimierungszweck des Unternehmens ins Auge gefasst. Das wäre zum Beispiel der Transport, die Speicherung, die Behandlung von Wasser bzw. Abwasser in diesem Bauwerk.

Dabei wird in naher Zukunft Building Information Modeling (BIM) die führende Arbeitsmethodik darstellen, von der eine nachhaltige Verbesserung der Qualität und eine bessere Kosten- und Zeitkontrolle erwartet wird [9]. Dabei liefert die digitale Umgebung den am Bau Beteiligten, dem Betreiber oder dem Eigentümer die Möglichkeit der zeitgleichen, ortsunabhängigen Dateneinsicht und -pflege. Wie der DWA-Arbeitsbericht „Building Information Modeling in der Wasserwirtschaft“ zeigt, liegt ein aktueller Entwicklungsschwerpunkt entsprechender Software-Anbieter auf der Kopplung der drei in Abbildung 1 dargestellten Dimensionen [10]. Aufgrund der vielfältigen bestehenden Software-Applikationen werden Schnittstellen und Datenübergabeformate definiert und zu einer möglichst offenen, aber standardisierten BIM-Software führen (openBIM-Ansatz), die einen vollständigen wasserwirtschaftlichen Digitalen Zwilling unterstützt.

Zwischenzeitlich haben sich durch den Einsatz eines Digitalen Zwillings in der industriellen Anwendung eine Vielzahl von Vorteilen gezeigt. Diese lassen sich auch weitgehend auf wasserwirtschaftliche Anwendungen übertragen. Es ergeben sich beispielsweise folgende Möglichkeiten, die teilweise auch zu neuen Geschäftsmodellen in der Wasserwirtschaft führen können:

- Es entsteht ein besseres Verständnis von Abläufen und Prozessen durch eingehende Auseinandersetzung mit dem Verhalten Digitaler Zwillinge. Dadurch reduziert sich die Gefahr von Fehlern oder Störungen in realen Abläufen. Digitale Zwillinge sind optimale Schulungswerkzeuge für Betriebspersonal [11].
- Es findet eine ständige Überwachung und Bewertung von Infrastruktur statt. Durch kontinuierlichen, statischen und dynamischen Soll-Ist-Abgleich werden Zustand und Leistungsfähigkeit aller Anlagevermögen beobachtet, Mängel werden schnell identifiziert.
- Im Betrieb entsteht eine ganzheitliche Sicht auf Produkte und Anlagen in Echtzeit, betriebliche Qualitäts- und Effizienzsteigerung sind die Folge. Darüber hinaus sinken Entwicklungs- und Einführungszeiten neuer Produkte oder Prozesse, und die Gesamtflexibilität steigt.
- Durch rechtzeitige, lastbezogene Hinweise zum Betrieb, zur Wartung und Instandhaltung können Maßnahmen abgeleitet werden, die zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Stillstandzeiten führen.
- Es werden effiziente und risikolose Modifikationen von Produkten und Prozessen durch Tests und Simulation möglich, wobei die Auswirkungen auch auf das Gesamtunternehmen und Zulieferketten in digitalen Umgebungen deutlich werden.
- Die Vorhersage von Ereignissen ermöglicht den Wechsel vom reaktiven zum proaktiven Handeln durch frühzeitige Problembefassung. Der Digitale Zwilling kann die geeignetste Maßnahme empfehlen, bevor Ereignisse bestimmte Schwellenwerte übersteigen und Schäden eintreten.
- Was-wäre-wenn-Szenarien mit einem ständig abgeglichenen Digitalen Zwilling erlauben, sichere, wirtschaftliche Experimente bis zum Versagens-Lastfall, sodass Rückschlüsse auf die Resilienz möglich sind, ohne den täglichen Betrieb zu stören.
- Höherer Wissensstand und größere Vorhersagekompetenz des Betreibers können für eine Verbesserung der Kunden- bzw. Bürgerbeziehung genutzt werden.

Fazit: In der Wasserwirtschaft kann der Digitale Zwilling zur Erhöhung von Transparenz und Wissen beitragen und die faktenbasierte Entscheidungsfindung unterstützen und beschleunigen. Einem breiteren Spektrum von Menschen wird ein Einblick in die dynamische Funktionsweise von Anlagen gewährt, die kurz- und langfristige Entscheidungs- und Umsetzungsqualität von Ver- und Entsorgungsunternehmen und industriellen Anwendern wird erhöht. Der Digitale Zwilling schafft also die Voraussetzung für ein agiles, lernendes Unternehmen.

4 Einordnung in eine übergeordnete Wasser-4.0-Strategie

Die nächste Entwicklungsstufe wird erreicht, wenn der Digitale Zwilling im Rahmen von selbstlernenden Automatisierungslösungen für die unmittelbare Umsetzung von Entscheidungen eingesetzt wird. Dabei ermöglichen Rekonfiguration und Selbstoptimierung des Digitalen Zwillings eine Systemautonomie bei hoher Anpassungsfähigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit des Gesamtsystems unter wechselnden Umgebungs- oder Betriebsbedingungen. Dazu verschmelzen virtuelle und physische Welten, und ein cyber-physisches System (CPS) entsteht [2, 7].

Aus der jeweiligen Aufgabenstellung und Zieldefinition für ein CPS ergibt sich eine Systemlandschaft, die die physischen und virtuellen Komponenten umfasst und diese durch Vernetzung in eine Wechselbeziehung bringt. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Vernetzung zwischen physischer und realer Welt in einem CPS, wobei hier auch die Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) und die Einbindung in das Internet der Dinge (IoT) angesprochen wird.

Die Wertschöpfung im CPS ergibt sich aus einem Kreislauf von virtueller Entscheidungsfindung und physischer Umsetzung. Die Ausprägung der Automatisierung ist wählbar und reicht von einem Entscheidungsunterstützungssystem (EUS), in dem die optimale Entscheidung dem Betriebspersonal vorgeschlagen wird, bis hin zu einer Vollautomatisierung, in der Steuerbefehle unmittelbar aus der Optimierung resultieren und an das reale System übermittelt werden. Eine Fülle von Ausprägungen der Automatisierung sind denkbar, beispielsweise die Automatisierung nur innerhalb von vorher definierten Betriebswerten, wie sie beispielsweise bei der Stadtentwässerung von Aarhus/Dänemark betrieben wird [12], oder die Automatisierung lediglich von Einzelkomponenten des Gesamtsystems. Als Automatisierungsziel solcher Systeme gilt die autonome oder teilautonome Eigenoptimierung, wie sie als Industrie-4.0-Anwendung in der industriellen Produktion realisiert wird.

Die Komplexität wasserwirtschaftlicher Systeme, aber auch die Erfahrung der in der Wasserwirtschaft tätigen Unternehmen mit der Digitalen Transformation kann es bei der Erstellung eines CPS erforderlich machen, in strategischen Stufen vorzugehen. Das betrifft sowohl die Anwendung der Technologie als auch die strategische Zielformulierung:

a) Komplexe Produktionssysteme benötigen oftmals ein modulares Konzept aus mehreren, abgegrenzten, aber sich ergänzenden Digitalen Zwillingen. Diese Strategie „vom Kleinen zum Großen" könnte beispielsweise bedeuten, zunächst einen Digitalen Zwilling von der Kläranlage zu schaffen und diesen in ein CPS mit der realen Kläranlage einzubinden, bevor das CPS um virtuelle und reale Elemente des Entwässerungsnetzes erweitert wird.
b) Zur Zielformulierung und Umsetzungsplanung bedarf es einer Standortanalyse hinsichtlich der digitalen Unternehmenskompetenzen und Entwicklungsnotwendigkeiten. Um die digitale Transformation von Unternehmen erfolgreich zu gestalten, hat sich eine unternehmensindividuelle Untersuchung von Aufwand und Nutzen bewährt. Daraus lässt sich eine stufenweise Entwicklung ableiten, in der notwendige Fähigkeiten zum lernenden, agilen Unternehmen beschrieben sind [13]. In Abbildung 3 wird dieses Reifegradmodell aus der Industrie-4.0-Forschung beispielhaft auf die Wasserwirtschaft übertragen [14].

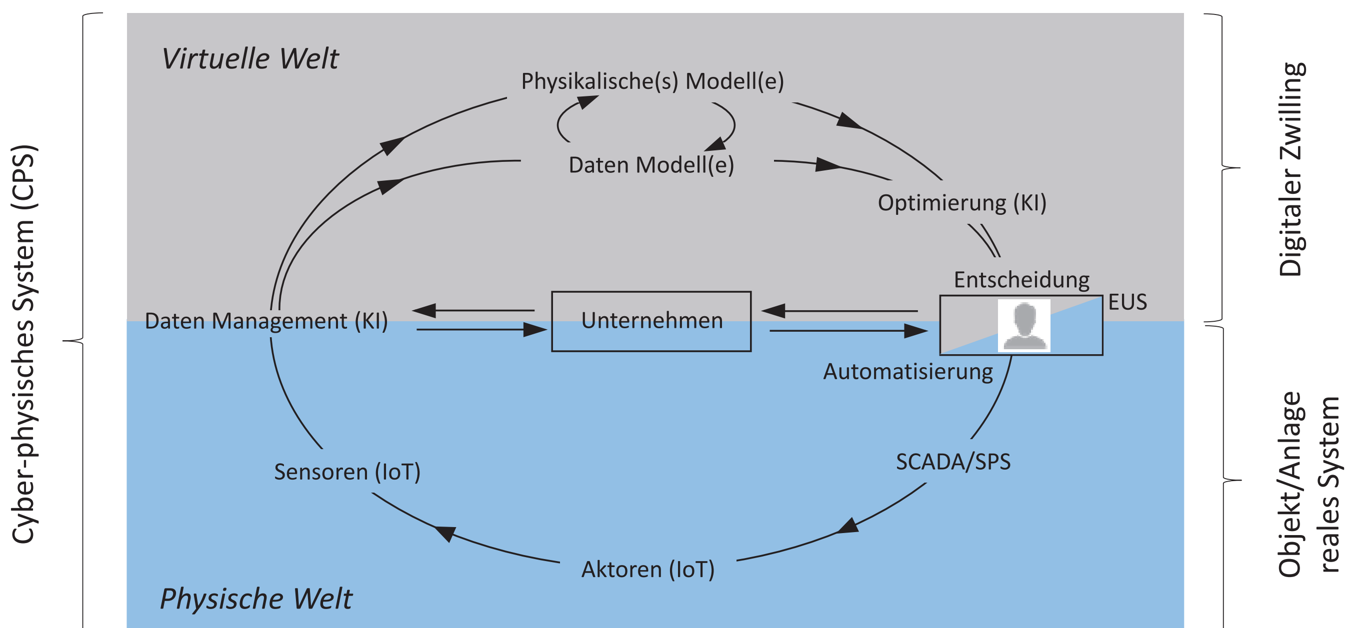


Abb. 2: Schematische Darstellung der Einbindung des Digitalen Zwillings in ein cyber-physisches System (CPS): Datenaustausch, Entscheidungsfindung und Umsetzung

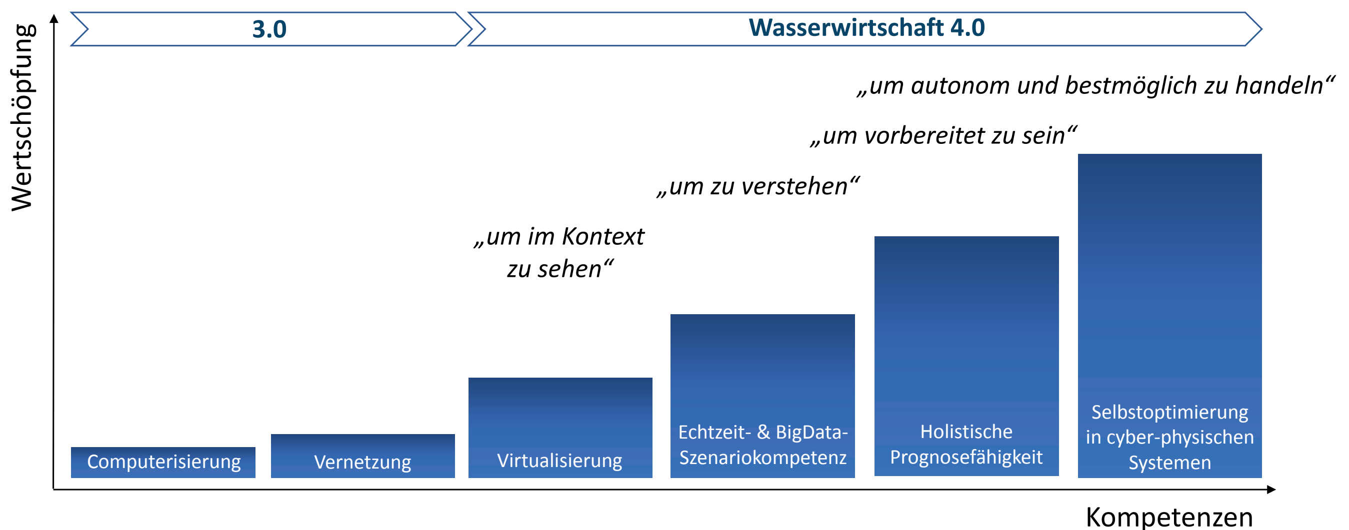


Abb. 3: Stufenweiser Aufbau von Unternehmenskompetenzen zur Entwicklung der Wertschöpfung aus Wasser 4.0

Die Entwicklung und Nutzung des Digitalen Zwillings in der Wasserwirtschaft kann in aufeinander aufbauenden Modulen oder Phasen erfolgen, um die bestmögliche Wertschöpfung für den Anwender in Abhängigkeit von seinem digitalen Kompetenzniveau zu erreichen. Gemäß [15] empfiehlt sich eine individuelle Betrachtung der möglichen und notwendigen Handlungsfelder.

Im Kontext von Wasser 4.0 wird der Digitale Zwilling als Bestandteil eines CPS betrachtet, der die Beschleunigung der Entscheidungs- und Anpassungsprozesse im betrachteten wasserwirtschaftlichen System zum Ziel hat. Um die Grundidee von Industrie 4.0 in der Wasserwirtschaft umsetzen zu können und die erforderliche holistische und autonome Systemintelligenz zu erreichen, sind Daten aus allen Stadien der Produkt- und Produktionslebenszyklen zusammenzuführen und miteinander zu verweben.

Entsprechend auf die Wasserwirtschaft angewendet will der 4.0-Ansatz zu schnellen und datenbasierten Entscheidungen verhelfen, um die größtmögliche positive Systemwirkung unter komplexen Randbedingungen zu erzielen, wobei die Umsetzung und Anpassung mittels vernetzter Technologie und kontinuierlicher Echtzeitkalibrierung teilweise oder ganz ohne menschliches Eingreifen geschieht.

Fazit: Infolge der Reichweite des Ansatzes kann Wasser 4.0 als strategische Leitidee einer Digitalen Transformation in der Wasserwirtschaft bezeichnet werden, da hier vitale digitale Kompetenzen und Fähigkeiten der beteiligten Unternehmen erforderlich sind, die neben Technologie auch Organisation und Kultur umfassen. Dynamische, echtzeitfähige und selbstorganisierende Wassersysteme werden gelingen, wenn der Mensch rechtzeitig vorbereitet wird, Bildungsangebote wahrnimmt und digitale Fachkompetenzen aufbaut [16]. Hiermit muss sich jetzt auch der Wassersektor verstärkt beschäftigen.

5 Technologische Einbindung und Geschäftsmodelle

Die Kopie von Objekten und Anlagen sowie die Simulation ihrer Interaktion mit der Umwelt bis hin zur vollautomatischen Beeinflussung der physischen Welt durch einen Digitalen Zwilling in einem CPS ist eine herausfordernde Aufgabe, die ein Zusammenspiel unterschiedlicher Hard- und Softwarekomponenten erfordert. Implementierungsprojekte werden aufgrund der Komplexität vermutlich modulartig wachsen, wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben.

Für Simulationssoftware im Wassersektor unterscheidet sich diese Anwendung auffallend von der bisher dominierenden klassischen, statischen, Offline- oder Nahezu-online-Applikation [2]. Obwohl bereits eine jahrzehntelange Erfahrung mit der Hydroinformatik existiert und führende Unternehmen nun auch Erfolge bei der nächsten Generation der modellprädiktiven Regelung (Model Predictive Control) von verschiedenartigen wasserwirtschaftlichen Netzwerken verzeichnen [17], ist diese Einbindung der hydrodynamischen Modellierung vergleichsweise neu. Es besteht noch starker Koordinierungs- und Kooperationsbedarf, handelt es sich doch bei einem CPS um eine komplexe und im Endstadium autonome Automatisierungslösung mit Vorhersage- und Optimierungskompetenz, die unterschiedliche und vergleichsweise neue Akteure im Wassersektor zusammenbringt.

Voraussetzung ist eine nahtlose Interaktion von Modell, Sensor und Aktor beispielsweise über OPC (Open-Platform Communication) und das SCADA-System (Supervisory Control And Data Acquisition) [18]. Die Echtzeitvernetzung von Sensoren und Aktoren über das Internet der Dinge (IoT) macht einen schnellen Austausch von großen Datenmengen erforderlich, gegebenenfalls auch über drahtlose Kommunikation. Weitere Informationen können über Drohnen-, Fernerkundungs- oder Wetterdaten einfließen. Die Filterung, Plausibilisierung und Speicherung von Daten benötigt große Rechenleistung und wird auf Dauer nicht ohne Künstliche Intelligenz (KI) auskommen, um handlungsrelevante Informationen rechtzeitig bereitzustellen bzw. vorherzusagen. Die Cyber-Sicherheit wird eine große Rolle spielen, da große Bereiche der Wasserwirtschaft der kritischen Infrastruktur (KritIS) zuzurechnen sind [19]. Dieser Aufwand kann teilweise durch abgeschirmte, unternehmenseigene Hochgeschwindigkeitsnetzwerke abgemildert werden, aber auf Kosten der Systemflexibilität und -schlankheit. Dem gegenüber steht die bedarfsgerechte Nutzung von IT-Leistungen mit Cloud-Computing, das heute als Basis-Technologie der Digitalisierung bezeichnet wird. Als Partner bieten sich Cloud-Dienstleister mit berechen-

baren Kosten und Leistungsflexibilität an. Zur Datenspeicherung und -verarbeitung können nach europäischem Recht zertifizierte Rechenzentren in Deutschland genutzt werden, um hohe Rechenleistung, Cyber-Sicherheit und KI-Lösungen zu ermöglichen.

Fazit: Forschung und Entwicklung in Universitäten und Unternehmen arbeiten an der Entwicklung und Marktreife von Digitalen Zwillingen in cyber-physischen Systemen, was interdisziplinäre Kooperationen und neue Geschäftsmodelle für beteiligte Unternehmen hervorbringen wird. Die in diesen Lösungen stattfindende Wertschöpfung aus Wasser- und Umweltdaten wird neue Allianzen und Wirtschaftsökosysteme in der Wasserwirtschaft fördern, in der auch die Plattform-Ökonomie ihren Platz finden wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In einem Digitalen Zwilling werden räumliche und stoffliche Eigenschaften eines Objekts, einer Anlage oder eines Systems in einem virtuellen Modell abgebildet und über Sensoren in Echtzeit mit seinem wirklichen Vorbild vernetzt. Weitere Modelle und Algorithmen ergänzen das Abbild um Prozessdynamik und Leistungsvergleiche und ermöglichen kontinuierliche Soll-Ist-Abgleiche und Prognosen. Cyber-physische Systeme erlauben Automatisierungskonzepte, die von der Leistungsfähigkeit Digitaler Zwillinge profitieren. Digitale Zwillinge, ob nun in eine übergeordnete Automatisierung eingebunden oder nicht, repräsentieren die Zukunft in allen anlagenintensiven Branchen. Sie werden dazu beitragen, Effektivität, Effizienz und Resilienz bei Verwaltung und Betrieb von Anlagen und Infrastruktur zu erhöhen. Sie bringen uns an die Schwelle einer neuen Ära der Unternehmenssteuerung und Wertoptimierung. Der Digitale Zwilling hat das Potenzial, zum digitalen Lebenszyklusinstrument des Planers, des Betreibers und des Eigentümers zu werden. Die Beherrschung dieser Technologie bietet internationale Marktchancen für beteiligte Unternehmen [14, 20].

Der holistische 4.0-Ansatz steckt noch in den Kinderschuhen, und vollständige, insbesondere groß-skalige Projekte sind derzeit in der Erprobung. Aktuell besteht daher die Chance der Weiterentwicklung und Kopplung erprobter Komponenten und der Umsetzung in Pilotprojekten, wozu insbesondere zukunftsorientierte Infrastruktureigentümer und -betreiber als Erprobungspartner notwendig sind, die gegenüber neuen Partnerschaften und Geschäftsmodellen offen sind.

Die Hereinnahme der dynamischen Modellierung des Elements Wasser in all seinen Ausprägungen in den Digitalen Zwilling ist rechtzeitig zu berücksichtigen, und Schnittstellen zu Planungswerkzeugen sind zu schaffen. Anbietern klassischer Modellierungssoftware bietet der Wasser-4.0-Ansatz mit einem in ein CPS integrierten, vollständig ausgeprägten Digitalen Zwilling eine neue, zukunftsweisende Aufgabe.

Literatur

[1] Global Water Intelligence: *Water's Digital Future*, 2016

[2] Vestner, R.; Keilholz, P.: Was bedeutet der „4.0-Ansatz“ für die Wasserwirtschaft? Reihe „Gewässerschutz Wasser Abwasser“, Bd. 239, S. 7/1–7/13, Aachen, 2016

[3] Obenaus, F.: Digitalisierung als Modernisierungsimpuls für Anlagenerneuerung und -betrieb in der Wasserwirtschaft, *Korrespondenz Abwasser Abfall* 2017, *64* (6), 496–500

[4] Gahr, A.; Wazinski, P.; Andreas, N.: Wasserwirtschaft 4.0 erobert den Chemiepark Bitterfeld-Wolfen, *Korrespondenz Abwasser Abfall* 2017, *64* (6), 526–532

[5] Keilholz, P.; Spinnreker-Czichon, D.; Huttner, P.; Augstein, A.; Borsdorff, D.; Erdle, K.; Ahlers, S.; Deubel, A.: Bewässerung 4.0: ein möglicher Ansatz zur weiteren Optimierung der Bewässerung, *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2019, *12* (9), 510–517

[6] Drath, R.: The digital twin: the evolution of a key concept of Industry 4.0, in: Fraunhofer IOSB, *visIT Industrial IoT – Digital Twin* 2018 (19), 6–7

[7] acatech: *Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*, München, 2013

[8] Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): *Industrie 4.0 – Innovationen für die Produktion von morgen*, 2017, *https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Industrie_4.0.pdf*

[9] Kröger, S.: *BIM und Lean Construction – Synergien zweier Methodiken*, Beuth, Berlin, 2018

[10] Building Information Modeling in der Wasserwirtschaft, Arbeitsbericht der DWA-Ad-hoc-Arbeitsgruppe WI-00.5 „Building Information Modeling“, *Korrespondenz Abwasser Abfall* 2018, *65* (12), 1107–1112

[11] Reichel, G.: *Virtual River 4.0 – Tests und Trainings*, 2019, *https://www.virtual-river.com*

[12] Engelke, P.; Lynggaard-Jensen, A.: Echtzeitgesteuerte Bewirtschaftung der Gewässer in Århus, *wwt* 2017 (6), 27–31

[13] Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M.; Wahlster, W. (Hrsg.): *Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten*, acatech-Studie, Herbert Utz Verlag, München, 2017

[14] Vestner, R.: Exportchance Wasser 4.0; Vortrag auf dem VDMA-Forum „Industrie 4.0 – Digitalisierung in der Wasserwirtschaft“ am 16.05.2018; IFAT, München

[15] Pachaly, U.; Jumar, U.: Konzepte von Industrie 4.0 für die Abwasserwirtschaft, *Korrespondenz Abwasser Abfall* 2017, *64* (6), 484–495

[16] McKinsey: *Future Skills: Digitalisierte Arbeitswelt erfordert neues Lehren und Lernen an Hochschulen*, Pressemitteilung, 13. März 2019, *https://www.mckinsey.de/news/presse/2019-03-13-future-skills-3-potenziale-fuer-hochschulen*

[17] Madsen, H.; Falk, A. K.; Halvgaard, R.: A Model Predictive Control Framework for Real-Time Optimisation of Water System Operations, *EPiC Series in Engineering* 2018, *3*, 1281–1288

[18] Engelke, P.; Pohl, C.: Eine Kläranlagen-Optimierung im Zusammenhang mit Wasserwirtschaft 4.0, *wwt Modernisierungs Report*, Sonderausgabe 2017/2018, S. 19–21, Huss-Medien, Berlin

[19] Merkblatt DWA-M 1060: *IT-Sicherheit – Branchenstandard Wasser/Abwasser*, Hennef, 2017

[20] German Water Partnership: *Wasser 4.0*, *https://www.germanwater-partnership.de/fileadmin/pdfs/gwp_materialien/gwp_wasser_40.pdf*

Autor

Dr.-Ing. Richard J. Vestner
DHI A/S
Rosenheimer Straße 143, 81671 München

E-Mail: rjv@dhigroup.com

